جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و یکم، پاییز ۱۳۹۸

صص ۱۲٦– ۱۱۱

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.81071

بررسی تأثیر متقابل نوسانات سریع دریای خزر و بیلان رسوبی در تغییرات خط ساحلی محدوده مورد مطالعه (سواحل رودخانه تجن)

مریم تورانی– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مجتبی یمانی[1]– استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

عطااله عبدالهی کاکرودی– دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۹/۱۷

چکیده

نوسانات سطح دریای خزر نسبت به سایر دریاها و دریاچه‌ها سریع‌تر است. دریای خزر چندین دوره نوسانات شدید را در دهه‌های اخیر تجربه کرده است و این امر منجر به جابجایی خط ساحل در هر دوره از تغییرات تراز شده است. هدف این پژوهش بررسی تغییرات خط ساحلی دریای خزر در سواحل رودخانه تجن از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳۹۵ است. داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث در سری‌های زمانی مختلف و همچنین آمار مربوط به دبی آب و رسوب رودخانه تجن است. برای انجام محاسبات موردنظر از نرم‌افزارArc GIS 10.3 و اکستنشن DSAD استفاده شد. محاسبات در ۳ بازه زمانی که تراز دریا روند افزایشی یا کاهشی داشته است انجام شد و تغییرات خط ساحل در هر بازه زمانی به‌صورت مجزا بررسی گردید و نهایتاً با داده‌های دبی آب و رسوب تجزیه‌وتحلیل صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) در بازه زمانی اول که کاهش تراز دریا رخ‌داده رقم۱/۷٦ است و در بازه زمانی دوم که افزایش تراز آب وجود دارد رقم نقطه نهایی ۱۱/۹۰– است. در بازه زمانی سوم مجدداً کاهش تراز آب رخ‌د اده و میزان نقطه نهایی ۵/۹۵ است. نتایج بیانگر آن است که در این بخش از سواحل دریای خزر وضعیت پیشروی و پس‌روی ساحل دقیقاً منطبق با تغییرات تراز آب دریا است و پس از بررسی دبی آب و رسوب در هر بازه زمانی مشخص گردید که میزان دبی آب و رسوب نیز در تطابق کامل با فرسایش و رسوب‌گذاری ساحل است و درمجموع تمام عوامل در محل قرارگیری خط ساحل مؤثر هستند و تفکیک میزان اثرگذاری هر یک از عوامل بسیار دشوار است.

کلید واژگان: دریای خزر، تغییرات خط ساحلی، تغییرات تراز دریا، رودخانه تجن، بیلان رسوبی

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۲۳۱۹۷٦۸۲

Email: myamani@ut.ac.ir

۱- مقدمه

خط ساحلی در حقیقت بیانگر خطی است که منطبق بر محل تلاقی فیزیکی خشکی و آب است (Dolan و همکاران، 1980) که مناطق ساحلی سراسر جهان را متأثر می‌کند. درواقع، حدود ۸۰٪ از سواحل جهان، بین ۱ سانتی‌متر تا ۱۰ متر در هرسال فرسایش می‌یابند (Pilkey and Hume، 2001). همچنین نیمی از جمعیت دنیا در نوار صد کیلومتری ساحل زندگی می‌کنند (Bird، ۱۳۹۲). سواحل دریای خزر از دیرباز موردتوجه جوامع انسانی بوده و فعالیت‌های متعددی در حاشیه سواحل آن صورت می‌گرفته. تغییرات در تراز آب این دریاچه همواره زندگی ساکنین حاشیه دریاچه خزر را دستخوش تغییر کرده و موجب بروز خسارت‌هایی شده و در بسیاری از موارد جابجایی سکونتگاه‌ها و تأسیسات را در پی داشته است (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹)، ازآنجایی‌که این تغییرات دارای روند سریعی است لذا بررسی آن به‌منظور شناسایی بهتر جهت مدیریت این مناطق ضروری است. تغییرات ساحلی می‌تواند ناشی از فرآیندهای طبیعی باشد، بااین‌حال فرآیندهای ساحلی اغلب تحت فعالیت‌های انسانی، در سطح محلی یا جهانی هستند. فرآیندهای طبیعی همچنین می‌تواند توسط فعالیت‌های انسانی تقویت و یا تسریع شود (Manc، 2013). امروزه از روش‌های متعددی جهت پایش خط ساحلی در سراسر جهان استفاده می‌شود، اگرچه روش‌های سنتی بررسی سطح زمین، نسبتاً دقیق‌تر هستند، اما استفاده از آن‌ها برای منطقه ساحلی بزرگ تقریباً غیرممکن است (Mirsa و همکاران،2015). داده‌های سنجش‌ازدور می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را با توجه به مقیاس‌های مکانی – زمانی و با دقت مناسب ارائه دهد و در بسیاری از موارد جایگزین مطالعات میدانی می‌گردد. محققان متعددی به بررسی تغییرات خط ساحلی پرداخته‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Esmail و همکاران (2019) به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات ساحلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اکستنشن (DSAS) و آمار چندماهه در ساحل Damietta در مصر پرداختند و نرخ نقطه نهایی (EPR) و رگرسیون خطی (LRR)[1] را محاسبه کردند. Vivek و همکاران (2019) به پایش هیدرودینامیک تغییرات دریاچه Chilika با استفاده از داده‌های لندست ۳۰ متری پرداختند و با استفاده از اکستنشن DSAS وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری را بررسی کردند. Hakkou و همکاران (2018) تغییرات خط ساحلی در یک دوره ۷۸ ساله در ساحل Kenitra در موروکو را بررسی کردند. Burningham و همکاران (2017) تغییرات ساحلی را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای بررسی کردند. Kermani و همکاران (2016) به بررسی و تحلیل تغییرات ساحلی در سواحل الجزایر شرقی پرداختند. آنان از چند دوره عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند. Jonah و همکاران (2016) با استفاده از نرخ نقطه نهایی (EPR) و آمار تغییرات خالص ساحلی به تجزیه‌وتحلیل بخشی از سواحل غنا پرداختند و از اکستنشن DSAS استفاده کردند. Natesan و همکاران (2015) به نظارت بر تغییرات درازمدت ساحلی در بخشی از سواحل هند

1 Linear Regression Rate

پرداختند. آنان جابجایی و تخریب نواحی مختلف ساحل را از تصاویر ماهواره‌ای چند دوره‌ای با استفاده از DSAS محاسبه کردند. Kankara و همکاران (2015) تغییرات طولانی و کوتاه‌مدت در سواحل Andhra Pradesh را با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS بررسی کردند. Salghuna و همکاران (2015) به بررسی تغییرات ساحلی در بخش شمالی Coromandel پرداختند و از اکستنش DSAS استفاده کردند و نهایتاً میزان تغییرات به دست آمد. Naderi Beni و همکاران (2014) تغییرات سطح دریای خزر در اواخر هولوسن و تأثیر آن بر تکامل ساحل را بررسی کرد. نتایج نشان داد که مهاجرت سریع زبانه ماسه و توسعه محیط‌های شور پاسخ منطقه ساحلی به تغییرات سریع سطح دریا است. Masselink و همکاران (2013) به تأثیر تغییرات اقلیمی و افزایش سطح‌اساس دریا بر روی فرسایش ساحلی در انگلستان و ایرلند پرداختند. Kakroodi و همکاران (2012) به بررسی تغییرات شدید تراز آب دریای خزر در هولوسن در سواحل ایران پرداخته‌اند و مشخص کردند که با پایین رفتن سطح‌اساس زبانه ماسه‌ای رشد کرده و با بالا رفتن سطح آب این زبانه به‌صورت جزایری درآمده است. علاوه بر این محققان داخلی متعددی درزمینه تغییرات خط ساحلی مطالعه کرده‌اند که عبارتند از: نگهبان و همکاران (۱۳۹٦) به پایش تغییرات خط ساحلی دریای عمان در منطقه جاسک پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند و تغییرات خط ساحلی را با استفاده از روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی حداکثر احتمال بررسی کردند. خسرویان و همکاران (۱۳۹٦) به بررسی و پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور پرداختند و از ۳ شاخص NDVI, NDWI و NDMI استفاده کردند. نتایج نشان داد ضریب NDMI کارایی لازم را ندارد درحالی‌که دو شاخص NDWI و NDVI بالاترین دقت را دارند. تقوی مقدم و همکاران (۱۳۹٦) تحلیل ژئومورفودینامیک تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای رودخانه مند بوشهر با استفاده از سنجش‌ازدور انجام دادند. شریفی کیا و همکاران (۱۳۹٦) تغییرات دینامیک خط ساحل در بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/چند سنجنده‌ای تعیین کردند. لرستانی (۱۳۹٤) به بررسی تغییرات خط ساحلی دلتای سفیدرود با استفاده از روش پلی گون تغییرات در شش دهه گذشته پرداخت. کاکرودی (۱۳۹۲) نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای خزر را با استفاده از تصاویر ماهواره، نقشه‌های تاریخی و مشاهدت میدانی در آخرین چرخهٔ آن (۱۹۲۹–۱۹۹۵) بررسی کرد.

در این پژوهش، هدف پایش تغییرات خط ساحلی دریای خزر در محدوده سواحل رودخانه تجن از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳۹۵ به‌منظور بررسی ارتباط بین جابجایی خطوط ساحلی با تغییرات سطح‌اساس دریا و بیلان رسوبی منطقه است. اکثر محققین معتقدند تغییرات تراز دریا رابطه مستقیم با فرسایش و رسوب‌گذاری در سواحل دارد و عامل اصلی در پیشروی و پس‌روی خطوط ساحلی را تغییرات تراز دریا می‌دانند که نقش اصلی و کلیدی در محل قرارگیری خطوط ساحلی دارد. بااین‌حال در سال های اخیر پژوهش‌های متعددی صورت گرفته که نشان می‌دهد عوامل متعددی در جابجایی خط ساحل نقش دارد و بالا و پایین رفتن سطح‌اساس به‌تنهایی تعیین‌کننده محل

قرارگیری سواحل نیست. در این پژوهش سعی شده خطوط ساحلی در یک بازه زمـانی طولانی‌مـدت کـه سـطح آب سه دوره نوسانی سریع و شدید داشته، بررسی و تعیین شود و به‌علاوه از میـزان دبـی رسـوب و آب بـه‌عنوان عوامـل تأثیرگذار در جابجایی خطوط ساحلی استفاده‌شده است تا درستی یا نادرستی نظـر محققـین پیشـین در ایـن بخـش از سواحل دریای خزر مورد آزمون قرار گیرد.

۲- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در استان مازندران و بخش میانی سواحل جنوبی دریای خزر واقع‌شده است کـه دارای موقعیـت جغرافیایی "۲۵ '٤۸ °۳٦ طول شمالی و "۱۸ '۰٥ °۵۳ عرض شـرقی در بخـش غربـی رودخانـه تجـن تـا "۳۰ '٤۹ °۳٦ طول شمالی و "٥۰ '۰۹ °۵۳ عرض شرقی در بخش شـرق دهانـه رودخانـه اسـت. رودخانـه تجـن از ارتفاعـات البـرز سرچشمه می‌گیرد و دارای میانگین دبی آب سالانه ۱۲/٦۲ مترمکعـب بـر ثانیـه در یـک دوره آمـاری ٤٤ سـاله اسـت (شرکت مدیریت منابع آب ایران). (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

۳- مواد و روش‌ها

جهت بررسی تغییرات خط ساحل در محدوده موردنظر ابتدا تمام عکس‌های هوایی موجود در منطقـه (جـدول ۱) و نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد، این عکس‌هـا تنهـا ۵ دهـه را پوشـش می‌دهنـد و دهه ۹۰ شمسی را شامل نمی‌شوند، بنابراین جهت بررسی خط ساحل در دهه ۹۰ شمسـی از تصـاویر Google Earth سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱٦ استفاده شد که دارای قـدرت تفکیـک مناسـب اسـت و آخـرین تصـاویری اسـت کـه از منطقـه موردنظر در Google Earth قابل دریافت می‌باشد. درمجموع برای منطقه موردنظر عکس‌های هوایی ۵ سـال و تصـویر

Google Earth ۲ سال گردآوری شد. پس‌ازآن ابتدا عکس‌های هوایی با اسکنر مخصوص و با دقـت 600 DPI اسـکن شد سپس با بالاترین میزان دقت و کمترین میزان میانگین مربع خطـا (RMS)[1] در نرم‌افـزار Arc GIS 10.3 ژئـورفرنس گردید (جدول ۲). برای ژئورفرنس کردن عکس‌ها ابتدا نقاط قابل‌تشخیص نظیـر تقـاطع جاده‌هـا، سـاختمان‌ها و ... در نرم‌افزار Google Earth معین شد و مختصات آن‌ها در Arc GIS 10.3 بر روی نقطه موردنظر در عکـس هـوایی وارد گردید و سپس هر عکس ژئورفرنس شد. جهت برآورد دقت و تطبیـق تمـام عکس‌هـا بـا یـک مرجـع مورداطمینـان مجدداً این عکس‌ها با نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه که حاصل برداشـت‌های میـدانی سـازمان نقشـه‌برداری کشـور بود منطبق گردید و درنهایت خط ساحل بر اساس روش Water line کشیده شد.

جدول ۱- مشخصات عکس‌های مورداستفاده در این پژوهش

مقیاس	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ساعت برداشت	نوع داده
۱:۵۵۰۰۰	آگوست ۱۹۵۵	۱۳۳٤	۱۵:۲۰	عکس هوایی
۱:۲۰۰۰۰	جولای ۱۹٦٦	۱۳٤۵	-	عکس هوایی
۱:۱۰۰۰۰	نوامبر ۱۹۸۱	۱۳٦۰	۷:٤۷	عکس هوایی
۱:۲۰۰۰۰	اکتبر ۱۹۹٤	۱۳۷۳	۹:۵۰	عکس هوایی
۱:٤۰۰۰۰	سپتامبر ۲۰۰٦	۱۳۸۵	۱۰:۱۱	عکس هوایی

جدول ۲- میزان RMS در عکس‌های هوایی

زمان اخذ عکس هوایی	۱۳۳٤	۱۳٤۵	۱۳٦۰	۱۳۷۳	۱۳۸۵
میزان RMS	۰,۰۰۰۲۳٤	۰,۰۰۰۲۷۹	۰,۰۰۰۱۷٦	۰,۰۰۰۱٦۷	۰,۰۰۰۱۰٤

در مرحله بعد تصاویر Google Earth با استفاده از نرم‌افزار Elshayel Smart به‌صورت ژئورفرنس شده اخـذ شـد و جهت برآورد دقت آن‌ها، مجدد با بالاترین دقت بـا نقشـه‌های رقـومی ۱:۲۵۰۰۰ منطقـه منطبـق گردیـد و سـپس خـط ساحل در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 ترسیم گردید.

جهت تعیین میـزان تغییـرات در خـط سـاحلی از اکستنشـن DSAS در نرم‌افـزار Arc GIS 10.3 اسـتفاده شـد و پارامترهای آماری که نشانگر وضعیت تغییرات خط ساحل هسـتند اسـتخراج گردیـد. بـرای ایـن منظـور در سرتاسـر سواحل ترانسکت‌هایی به‌صورت عمود بر خـط سـاحل بـا فواصـل ۱۰۰ متـر زده شـد و سـپس پارامترهـای آمـاری موردنظر استخراج گردید. نهایتاً آمار مربوط به دبی آب و رسوب از شرکت مدیریت منـابع آب ایـران دریافـت شـد و میانگین دبی آب و رسوب در هر بازه زمانی به‌صورت مجزا محاسبه گردید و با وضعیت و موقعیـت قرارگیـری خـط

1 Root Mean Square Error

ساحل تطبیق داده شد. لازم به ذکر است نزدیک‌ترین ایستگاه به مصب رودخانه تجن ایستگاه کردخیل است ولی آمار دبی آب این ایستگاه از سال ۱۳٤۸ و آمار دبی رسوب آن از سال ۱۳٦۲ به بعد موجود است، بنابراین بازه زمانی اول که از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳٥٦ است را به‌طور کامل پوشش نمی‌دهد.

٤- نتایج و بحث

پس از انجام محاسبات آماری شاخص‌های موردنیاز جهت تحلیل تغییرات خط ساحل در تمام سال‌ها به‌صورت کلی به دست آمد (جدول ۳).

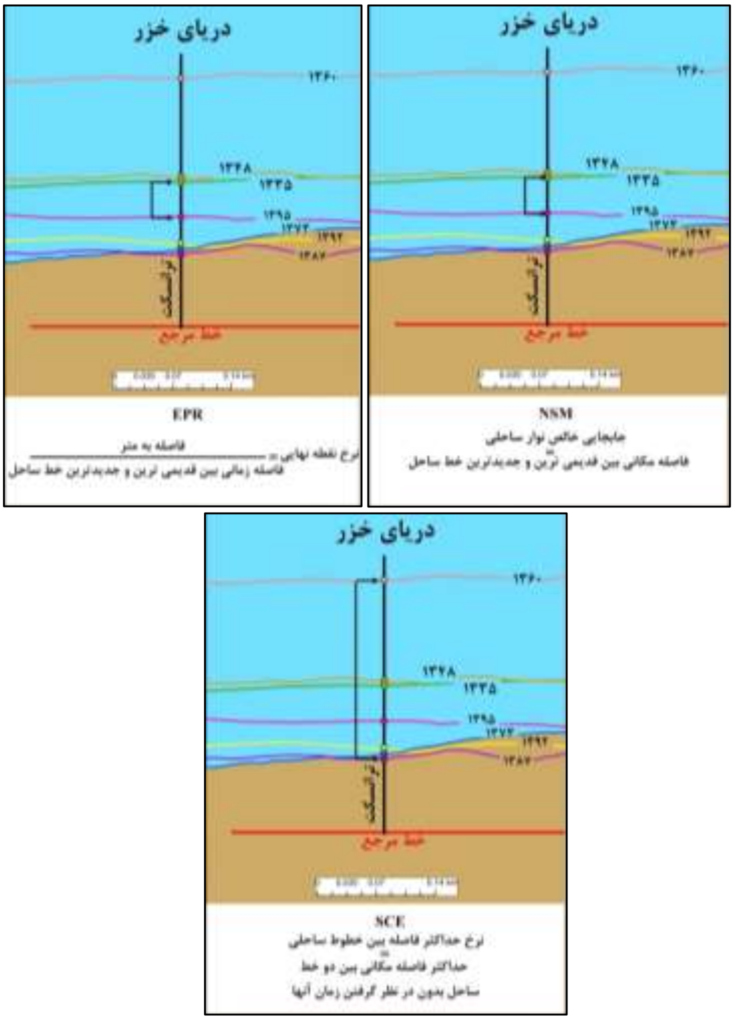
جدول۳- شاخص‌های آماری به‌دست‌آمده از اکستنشن DSAS

	NSM	SCE	EPR
حداکثر	۰/۹٥	۲٥۳/٤٦	٥۸/۲۳
حداقل	-۱/۷۷	٦۲/۸٦	-۱۰۸/٥۹
میانگین	-۰/۰۳۰	۱٥٥/۰۷	-۱/۸٤

EPR(End Point Rate) این شاخص از تقسیم شدن فاصله مکانی قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحلی بر روی فاصله زمانی بین قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحل به دست می‌آید و بیانگر نرخ پیشروی یا پس‌روی خط ساحل از قدیمی‌ترین زمان تا جدیدترین زمان است. میانگین این شاخص در سواحل رودخانه تجن ۰/۰۳۰ - است و نشان‌دهنده فرسایش ساحلی از سال ۱۳۳٤ تاکنون است.

SCE(Shoreline Change Envelope) این شاخص بیانگر تغییر خط ساحلی است و بیشترین فاصله بین دو خط ساحل بدون در نظر گرفتن زمان آن‌ها در هر ترانسکت را نشان می‌دهد. درمجموع میانگین این شاخص ۱٥٥/۰۷ است که نشان‌دهنده میزان جابجایی خط ساحل طی ٦۰ سال اخیر است.

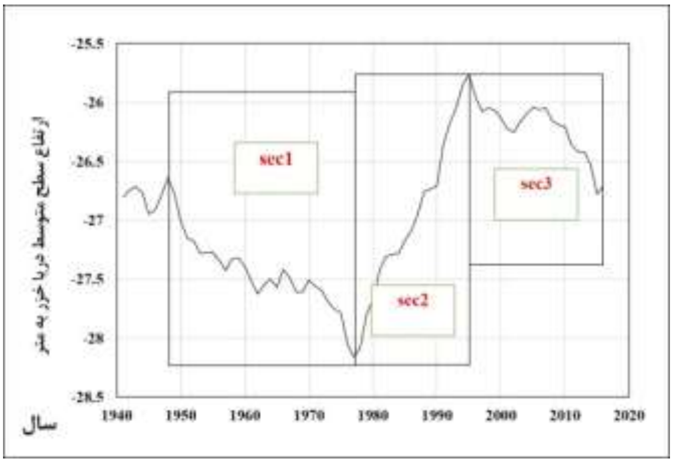
NSM(Net Shoreline Movement) جابجایی خالص تغییر خط ساحل است که در حقیقت میزان فاصله را بیان می‌کند و نه نرخ تغییرات را و در ارتباط با دو خط ساحل که قدیمی‌ترین و جدیدترین خطوط ساحلی به لحاظ زمانی هستند بیان می‌شود. این نرخ در محدوده موردنظر ۱/۸٤- است که منفی بودن آن بیانگر فرسایش ساحلی می‌باشد. شکل ۲ توضیح گرافیکی شاخص‌های موردنظر را نشان می‌دهد.



شکل ۲- توضیح گرافیکی نحوه محاسبه میزان SCE (سمت چپ)EPR (شکل وسط) و NSM شکل (سمت راست)

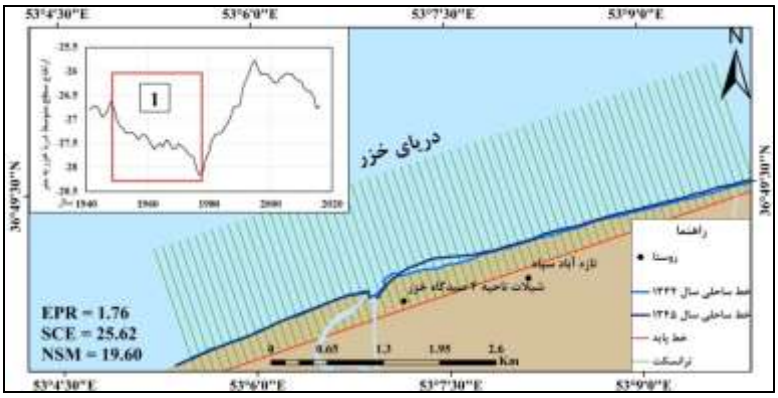
ارقام به‌دست‌آمده و ارائه‌شده در جدول ۳ تغییرات خط ساحلی از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳۹۵ را به‌صورت کلی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سطح‌اساس دریای خزر از سال ۱۳۳٤(۱۹۵۵میلادی) تاکنون نوسانات شدیدی داشته است، جهت بررسی بهتر نمودار تغییرات سطح تراز دریای خزر تهیه شد (شکل ۳) و تغییرات خطوط ساحلی مجدداً بر اساس سیکل‌های افزایشی و کاهشی تراز دریا محاسبه گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳٥٦(۱۹٥٥ تا ۱۹۷۷میلادی) کاهش سطح‌اساس مشهود است. Chen و همکاران (2017) میانگین این نوسانات را از سال ۱۳۱۹ تا ۱۳٥٦ به میزان ۳/۳۰- سانتی‌متر در سال ذکر کرده‌اند. از سال ۱۳٥٦ تا ۱۳۷٤ افزایش چشمگیری در

تراز آب رخ‌داده که میانگین این نوسانات ۱۳/۰۹ سانتی‌متر در سال ذکرشده است. از سال ۱۳۷٤ تاکنون نوساناتی در سطح تراز رخ‌داده که میانگین آن به‌صورت کلی ٦/٧٢− ذکرشده است.



شکل۳- نمودار تغییرات تراز دریای خزر از ۱۹٤۰ تاکنون

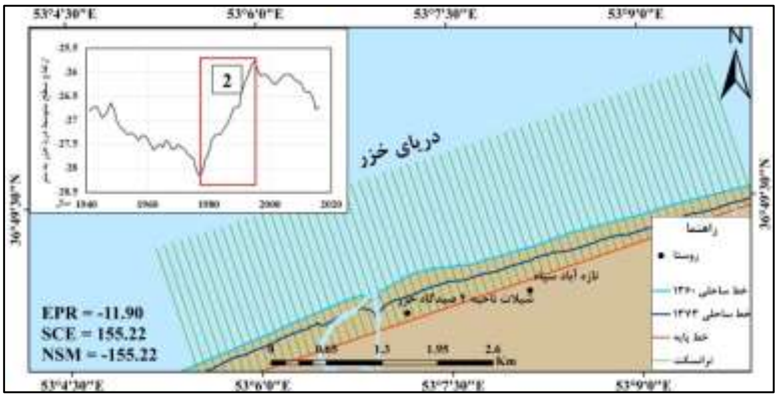
یافته‌های پژوهش نشان داد که به‌طورکلی، محدوده ساحلی رود تجن از سال ۱۳۳٤ تاکنون پایدار نبوده است. برای دست‌یابی به مقدار تغییرات در هر دوره از جابجایی سطح‌اساس دریا، پارامترهای آماری برای دوره اول یعنی از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳٥٦ مجدداً بر روی خطوط ساحلی که در این سری زمانی قرار دارد، مورد آزمون قرار گرفت. در این دوره زمانی کاهش سطح‌اساس دریا وجود دارد و میزان EPR برابر ۱/٧٦٥ و میزان SCE برابر ۲٥/٦۲ و مقدار NSM مساوی با ۱۹/٦۰ بود. تمام مقادیر ذکرشده در این بازه زمانی مثبت است که نشان‌دهنده پیشروی ساحل به‌طرف دریا است (شکل ٤).



شکل ٤- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش اول تغییرات تراز دریا

نهایتاً جهت بررسی بهتر از آمار دبی آب و رسوب رودخانه تجن نیز استفاده شد. بر روی رودخانـه تجـن چنـدین ایستگاه قرار دارد که نزدیک‌ترین آن‌ها به مصب رودخانه ایستگاه کردخیل است، آمـار دبـی آب ایـن ایسـتگاه از سـال ۱۳۴۸ به بعد و آمار دبی رسوب از سال ۱۳۶۱ به بعد موجود اسـت و محـدوده زمـانی اول را بـه‌طور کامـل پوشـش نمی‌دهد، همچنین ایستگاه بالادست این رودخانه در فاصله زیـادی از مصـب رود قـرار دارد کـه اسـتفاده از آمـار ایـن ایستگاه برای سواحل رودخانه صحیح نیست و به دلیل نقص زیاد آمـار در ایـن سـال‌ها روش‌هـای بازسـازی آمـاری نتایج مطلوبی در برنداشت لذا برای بازه زمانی اول در نظر گرفته نشد.

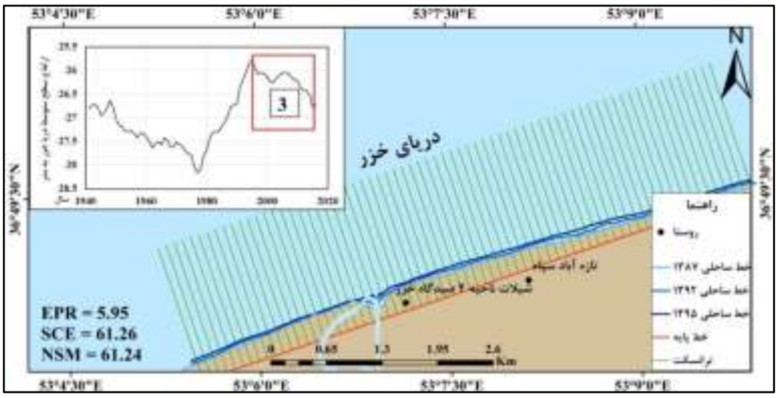
بازه زمانی دوم یعنی بین سال های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷٤ اسـت کـه تـراز دریـا افـزایش چشـمگیری دارد و دو سـری از خطوط ساحلی در سال های ۱۳٦۰ و ۱۳۷۳ در این بـازه زمـانی قرارگرفتـه اسـت. در ایـن بخـش میـزان EPR برابـر ۱۱/۹۰- و میزان SCE برابر ۱۵۵/۲۲ و مقدار NSM مساوی با ۱۵۵/۲۲- بود. وضعیت این بخش از سـاحل بـا توجـه به مقادیر به دست آمد در این بازه زمانی فرسایشی است (شکل ۵).



شکل ۵- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش دوم تغییرات تراز دریا

در بازه زمانی دوم میزان دبی آب در ایستگاه کردخیل ١٤/٣٦ مترمکعب بر ثانیه و میـزان دبـی رسـوب در ایسـتگاه کردخیل ١٤/٨٠٢ کیلوگرم در روز است.

در بازه زمانی سوم تغییرات تراز دریا نوساناتی دارد ولی به‌صورت کلـی تـراز دریـا کاهشـی اسـت. از سـال ١٣٧٤ تاکنون سه سری از خطوط ساحلی موردبررسی در ایـن بـازه قـرار می‌گیـرد کـه شـامل سـال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ است. در این بخش میزان EPR برابر۵/۹۵ و میزان SCE برابر ٦١/٢٦ و مقدار NSM مساوی بـا ٦١/٢٤ بـود. وضـعیت این بخش از ساحل با توجه به مقادیر به دست آمد در این بازه زمانی رسوب‌گذاری و پیشـروی سـاحل به‌سـوی دریـا است (شکل ٦).



شکل٦- میزان جابجایی خط ساحلی در بخش سوم تغییرات تراز دریا

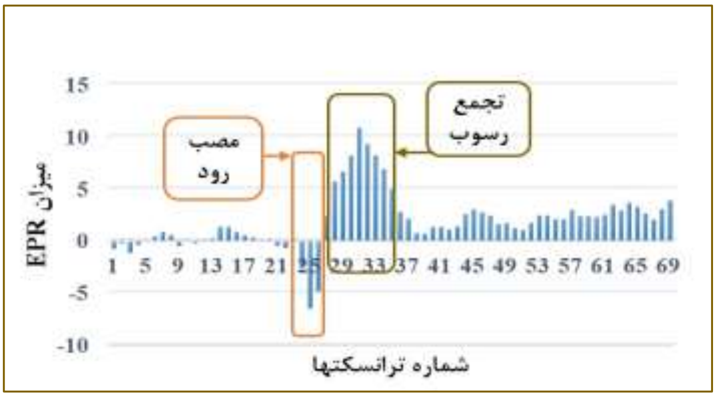
در بازه سوم در ایستگاه کردخیل میزان دبی آب ۹/۹٦ مترمکعب بر ثانیه است و دبی رسوب ٤٢/٤٠٦ کیلوگرم در روز است (جدول ٤).

جدول٤- میانگین دبی آب و رسوب در رودخانه تجن

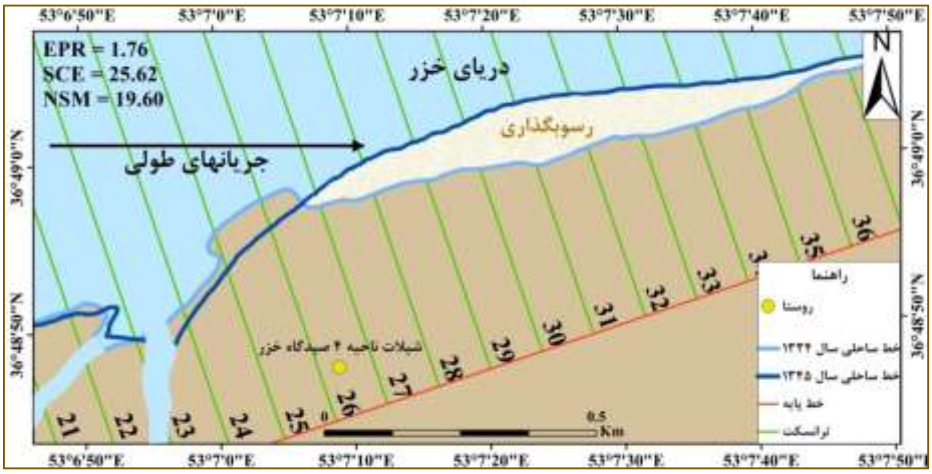
سال	میانگین دبی آب (مترمکعب/ ثانیه)	میانگین دبی رسوب (کیلوگرم/ روز)	ملاحظات	وضعیت ساحل
۱۳۳٤-۱۳٥٦	۱۳/٦۸	---	آمار دبی آب فقط از سال ۱۳٤۸ به بعد موجود است و کل این بازه را شامل نمی‌شود	رسوب‌گذاری
۱۳٥۷-۱۳۷٤	۱۳/۹٥	۱٤/۸۰۲	آمار ایستگاه کردخیل	فرسایشی
۱۳۷٥-۱۳۹٥	۱۰/٥۲	٤٢/٤۰٦	آمار ایستگاه کردخیل	رسوب‌گذاری

بالا آمدن سطح دریا باعث فرسایش ساحل می‌شود زیرا بالا آمدن سطح آب باعث عمیق‌تر شدن آب‌های کرانه نزدیک می‌گردد و درنهایت باعث می‌شود امواج بزرگ‌تر و قوی‌تری به ساحل برسد و شن و ماسه به دریا منتقل شود. همچنین پایین رفتن سطح‌اساس باعث رسوب‌گذاری و توسعه سواحل به سمت دریا می‌شود. بررسی صورت گرفته در سواحل رودخانه تجن این مسئله را به‌خوبی نشان می‌دهد، طوری که در بازه زمانی اول که تراز دریای خزر کاهش محسوسی داشته است، دو خط ساحلی در سال های ۱۳۳٤ و ۱۳٤٥ بررسی شدند و نرخ نقطه نهایی (EPR) در این دو خط محاسبه گردید و رقم ۱/۷٦ را نشان داد که بیانگر پیشروی خشکی ساحلی به سمت دریا (Accretion) است. در حقیقت کاهش تراز دریا ضمن اینکه فضای کافی جهت گسترش ساحل و رسوب‌گذاری رودخانه فراهم می‌کند، محل تأثیر امواج را دورتر می‌کند و بنابراین فرصت کافی جهت رشد سواحل ایجاد می‌شود. نمودار مربوط به میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) در این دوره زمانی ترسیم گردید (شکل ۷). همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان EPR در هر ترانسکت رقم متفاوتی را نشان می‌دهد. مصب رودخانه در محدوده ترانسکت‌های ۲۰ تا

۲۵ قرار دارد و بیشترین تغییرات در محدوده مصب تا بخش شرقی آن، یعنی تا ترانسکت شماره ۳۷ دیده می‌شود که در حقیقت بیانگر نقش مؤثر آورد رسوب در محدوده مصب رود است. در این بازه زمانی آمار دبی رسوب موجود نیست اما بیشترین میزان پیشروی خط ساحل در بخش شرقی دهانه رودخانه تجن به چشم می‌خورد که نشان‌دهنده بارگذاری رسوبات در این بخش و به دنبال آن پیشروی ساحل به سمت دریا است. علاوه بر آن جابجایی رسوبات از طریق امواج در سواحل جنوبی دریای خزر بسیار حائز اهمیت است، زیرا این امواج همواره رسوبات رودخانه‌ها را به سمت شرق جابجا می‌کنند. همان‌طور که در نمودار تغییرات میزان EPR دیده می‌شود بیشترین تغییرات در بازه زمانی اول در بخش مصب رودخانه و شرق آن قرارگرفته است که اهمیت بار رسوبی رود و وجود امواج را نشان می‌دهد(شکل ۸).

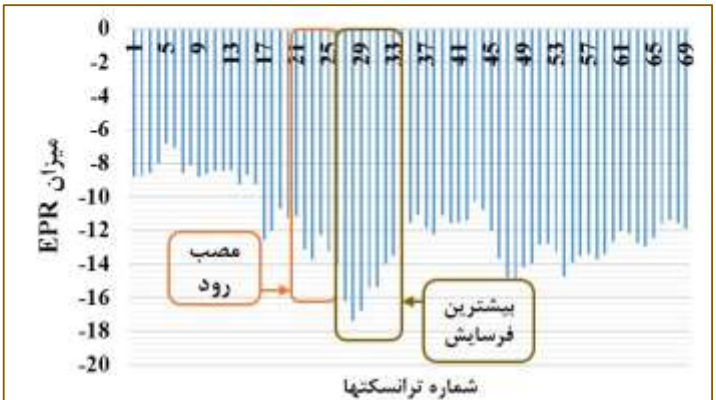


شکل۷- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی اول

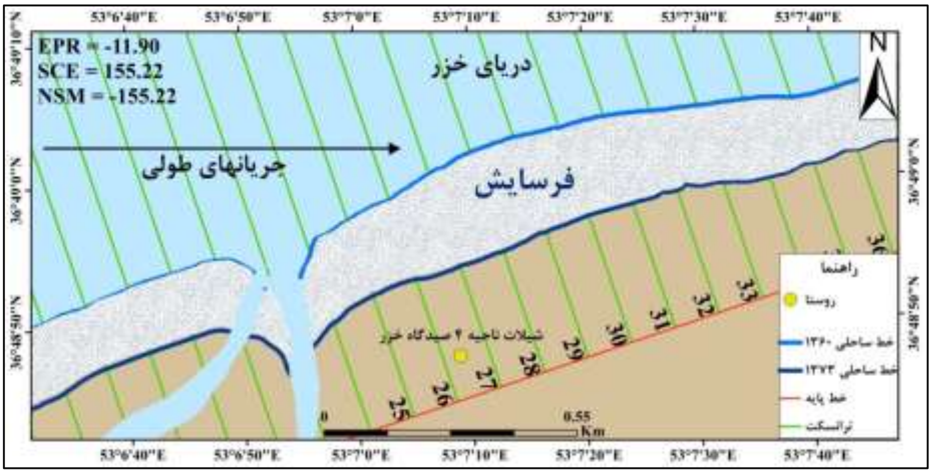


شکل۸- میزان تغییرات و محدوده بیشترین رسوب‌گذاری در بازه زمانی اول

در بازه زمانی دوم یعنی از سال ۱۳۵٦ تا ۱۳۷٤ تراز دریای خزر به‌سرعت افزایش می‌یابد. در این محـدوده زمـانی دو خط ساحلی در سال های ۱۳٦۰ و ۱۳۷۳ قـرار داشـتند و نـرخ نقطـه نهـایی (EPR) آن‌هـا رقـم ۱۱/۹۰- را نشـان می‌دهد که بیانگر فرسایش شدید ساحل است. Bruun (1962) اظهار می‌دارد که بالا آمدن سطح دریا در سـواحلی کـه به نیمرخ تعادلی خود دست‌یافته‌اند، موجب فرسایش در بخش بالادست آن خواهد شد و شـن و ماسـه از سـاحل بـه بستر دریا انتقال خواهد یافت. این فرآیند باعث می‌شود که نیمرخ ساحلی خود را با سطح فعلی دریـا هماهنـگ سـازد، بنابراین نیمرخ ساحل به سمت بالادست و خشکی مهاجرت می‌کند. بالا آمدن تراز آب باعـث کـاهش اختلـاف ارتفـاع بین مبدأ رودخانه و سطح‌اساس می‌شود و درنتیجه میزان قدرت فرسایندگی رودخانـه کـاهش می‌یابـد و بـه دنبـال آن دبی رسوبی کمتری تولید می‌شود. در این بازه زمانی میزان دبی آب ۱۳/۹۵ مترمکعـب در ثانیـه و میـزان دبـی رسـوب ۱٤/۸۰۲ کیلوگرم در روز می‌باشد. بالا آمدن تراز آب مانع از پیشروی ساحل به سمت دریـا گردیـده اسـت و در تمـام بخش‌های ساحل فرسایش به چشم می‌خورد. بیشترین میزان فرسایش در این دوره در ترانسـکت شـماره ۲۸ صـورت گرفته که در بخش شرقی مصب رود قرار دارد. در حقیقت کاهش تأمین رسـوب از یکسـو و بالـا آمـدن تـراز دریـای خزر از سوی دیگر مانع از گسترش ساحل شده و علاوه بر آن در بخش شرقی رود که رسـوبات زیـادی در دوره قبـل تجمع یافته بودند به‌وسیله جریان‌ها و امواج جابجا شده‌اند و بیشترین میزان پس‌روی سواحل در بخـش شـرق مصـب رود قرارگرفته است. درمجموع در این محدوده زمانی سه عامل افـزایش چشـمگیر سطح‌اسـاس، افـزایش دبـی آب و کاهش دبی رسوب به‌صورت مستقیم در محل قرارگیری خط ساحل دخیل هسـتند و باعـث فرسـایش خـط سـاحلی گردیده‌اند(شکل‌های ۹ و ۱۰).

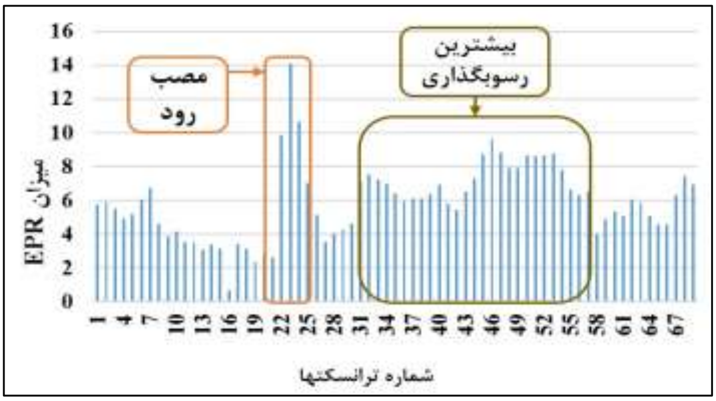


شکل۹- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی دوم

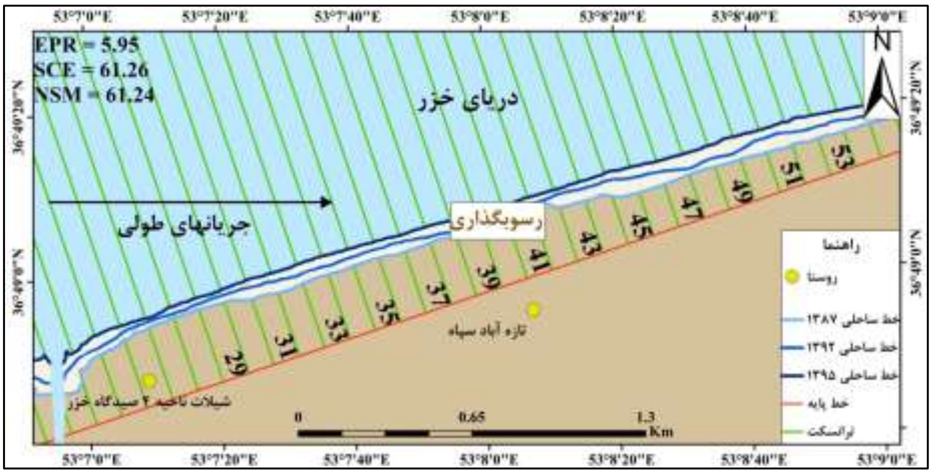


شکل۱۰- میزان تغییرات و محدوده فرسایش در بازه زمانی دوم

در بازه زمانی سوم نوساناتی در بالا و پایین رفتن تراز آب دریا وجود دارد، ولی در حالت کلی کاهش تراز آب مشهود است. در این محدوده زمانی ۳ خط ساحلی در سال های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲، ۱۳۹۵ موردبررسی قرار گرفت که میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) آن‌ها ۵/۹۵ است. در این بازه زمانی نیز میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت رقم متفاوتی دارد (شکل ۱۱). بیشترین میزان رسوب‌گذاری در محدوده مصب رودخانه قرار دارد و به سمت شرق یعنی از ترانسکت شماره ۳۱ تا ترانسکت ۵۸ بالاترین ارقام در نرخ نقطه نهایی (EPR) ملاحظه می‌شود (شکل ۱۲). میزان دبی آب در این بازه زمانی۱۰,۵۲ مترمکعب بر ثانیه و میزان دبی رسوب ٤٢/٤٠٦ کیلوگرم در روز است. میزان دبی آب در این بازه زمانی نسبت به دوره قبل کاهش و میزان دبی رسوب افزایش چشمگیری داشته است. تأمین رسوبات زیاد به‌وسیله رودخانه تجن، کاهش دبی آب رودخانه، کاهش تراز دریا و به دنبال آن گسترش عرصه جهت رشد سواحل باعث پیشروی سواحل به سمت دریا شده است و وجود جریان‌ها و امواج این رسوبات را به سمت شرق حرکت داده‌اند.



شکل۱۱- میزان تغییرات نرخ نقطه نهایی (EPR) در هر ترانسکت در بازه زمانی سوم



شکل۱۲- میزان تغییرات و محدوده بیشترین رسوب‌گذاری در بازه زمانی سوم

۵- نتیجه‌گیری

درنهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده باید گفت:

– میزان جابجایی خط ساحل در محدوده رودخانه تجن با قواعد کلی که محققان درزمینه تغییر سطح اساس و جابجایی خط ساحل گفته‌اند تطابق کامل دارد و درواقع با کاهش سطح اساس، خطوط ساحلی به سمت دریا پیشروی می‌کند (Accretion) و با افزایش سطح اساس خطوط ساحلی به سمت خشکی عقب‌نشینی دارند (Erosion). در این بخش تغییر تراز آب دریا و به دنبال آن میزان دبی آب و دبی رسوب تعیین‌کننده محل قرارگیری خط ساحل است و تفکیک میزان اثرگذاری هر یک از این عوامل و اولویت‌بندی آن‌ها بسیار دشوار است. همچنین لازم به ذکر است در مرحله اول که پارامترهای موردنظر بدون در نظر گرفتن تغییرات سطح‌اساس دریا و به‌صورت کلی در تمام سال‌ها محاسبه گردید میزان نرخ نقطه نهایی (EPR) رقم میانگین ۰/۰۳۰- را نشان داد که بیانگر فرسایش ساحل است، درصورتی‌که پس از تقسیم‌بندی در قالب بازه‌های زمانی مختلف این شاخص تغییر اساسی کرد و این امر نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده تغییرات تراز آب در تعیین موقعیت سواحل در محدوده موردنظر است.

– در سواحل رودخانه تجن مصب رودخانه عامل بسیار مهمی در جابجایی خط ساحل است و بیشترین تغییرات در همین بخش رخ می‌دهد، در بخش غربی مصب رود تغییرات به کمترین میزان خود می‌رسد زیرا در سواحل دریای خزر از غرب به شرق جریاناتی به موازات خط ساحل وجود دارد که رسوبات حاصل از رودخانه را به سمت شرق جابجا می‌کند. از دهانه رود تجن به سمت شرق به‌تدریج بر میزان رسوب‌گذاری افزوده می‌شود.

– آورد رسوبی رودخانه و شیب بسیار کم و هم‌تراز سطح دریا در دهانه رودخانه تجن عامل بسیار مهمی در جابجایی خط ساحل در این بخش است و به دلیل هم‌تراز بودن مصب بیشترین جابجایی خطوط ساحلی در زمان

تغییرات سطح اساس در این بخش رخ می‌دهد و هر چه از دهانه رودخانـه دورتـر می‌شـویم وضـعیت پایـدارتری در هنگام تغییرات سطح اساس وجود دارد. این مسئله نشانگر حساسیت بالا مصب رودها به تغییرات سطح اساس است.

قدردانی

این پژوهش برگرفته از بخشی از رساله دکتری است که به‌عنوان طرح پژوهشی برای سـازمان بنـادر و دریـانوردی انجام شده است. همچنین، عکس‌های هوایی از سـازمان نقشـه‌برداری کشـور و آمـار دبـی و رسـوب نیـز از شـرکت مدیریت منابع آب دریافت شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌ها و همکاری‌های بی‌دریغ ایشان قدردانی می‌نماید.

کتابنامه

برد، اریک؛ چارلز، فردریک؛ (۱۳۹۲) ژئومورفولوژی ساحلی (ترجمه مجتبـی یمـانی، وحیـد محمـد نـژاد)، انتشـارات دانشگاه تهران.

تقوی مقدم، ابراهیم؛ قنواتی، عزت‌الله؛ اکبری، الهه؛ حسینی، هاشم؛ (۱۳۹٦) تحلیل ژئومورفودینامیـک تغییـرات خـط ساحلی قاعده دلتای رودخانه مند بوشهر با استفاده از سنجش‌ازدور. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضـای جغرافیـایی، سال هفدهم، شماره ٦۰، ۱۹۰-۱٦۹

خسرویان، مریم؛ انتظاری، علیرضا؛ رحمانی، ابوالفضل؛ باعقیـده، محمـد؛ (۱۳۹٦) پـایش تغییـرات سـطح آب دریاچـه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور. مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۳، ۱۲۰-۹۹

شریفی کیا، محمد؛ شایان، سیاوش؛ ولی، مایسا؛ تعیین تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/چند سنجنده‌ای.(۱۳۹٦) برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیست و یکم، شماره ٤

عبدالهی کاکرودی، عطااله؛ (۱۳۹۲) نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای خزر. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، ٤٤-۳۳

لرستانی، قاسم؛ (۱۳۹٤). بررسی تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش پلی گون تغییـرات، محـدوده موردمطالعـه: قاعده دلتای سفیدرود. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، ۱۸۰- ۱٦۸

نگهبان، سعید؛ باقری، کیوان؛ حیدری، سوسن؛ گروسی، لیلا؛ (۱۳۹٦) بررسی و پایش تغییـرات خـط سـاحلی دریـای عمان در منطقه جاسک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، ۱۳٦-۱۱۹

Bruun P. 1962. Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division. 88: 117–130

Burningham Helene. French Jon. 2017. Understanding coastal change using shoreline trend analysis supported by cluster-based segmentation. Geomorphology 282:131–149

Chen J. L. Pekker T. Wilson C. R. Tapley B. D. Kostianoy A. G. Cretaux J.F. and Safarov E. S. 2017.Long-term Caspian Sea level change. Geophysical Research Letters. 21 JUN 2017

Dolan R. Hayden B.P. May P and May S.K. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. Shore and Beach, 48(4): 22–29.

Esmail, Mohammed. Elham Mahmod Wael. Fath Hassan.2019.Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. Applied Ocean Research 82: 274–282

Hakko Mounir. Hakko Mehdi. Hakko Tarik. El khalidi Khalid. El Ouai Driss. Benmohammadi Aïcha. 2018. Multi-decadal assessment of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation in Kenitra coast, Morocco. Ocean and Coastal Management 163: 232–239

Jonah F.E. Jonah I. Osman A. Shimba M.J. Mensah E.A. Adu-Boahen K. Chuku E.O. Effah E.2016. Shoreline change analysis using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape Coast and Moree section of Ghana's coast. Regional Studies in Marine Science 7: 19–31

Kakroodi A.A. Kroonenberg S.B. Hoogendoorn R.M. Mohammd Khani H. Yamani M. Ghassemi M.R. Lahijani H.A.K. 2012. Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, Quaternary International 263:93e103

Kankara R. S. Chenthamil Selvan S. Markose Vipin J. Rajan B. Arockiaraj S.2015 Estimation of long and short term shoreline changes along Andhra Pradesh coast using Remote Sensing and GIS techniques. Procedia Engineering 116: 855 – 862

Kermani Saci. Boutiba Makhlouf. Guendouz Mostefa. Guettouche Mohamed.Said. Khelfani Dalila 2016. Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijlian sandy coast (East Algeria). Ocean & Coastal Management 132: 46e58

Manc E. Pascucci V. Deluca M. Cossu A. Andreucci S. 2013. Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. Ocean. Coast. Manag. 85: 65e76.

Masselink G. and Russell P. 2013 Impacts of climate change on coastal erosion, MCCIP Science Review, 71-86, doi:10.14465/2013.arc09.071-086

Misra A. Balaji R. A.2015. study on the shoreline changes and Land-use/ land-cover along the South Gujarat coastlineA study on the shoreline changes and Land-use/ land-cover along the South Gujarat coastline. Procedia Engineering 116: 381 – 389

Naderi beni Abdolmajid. Alizadeh-Lahijani Hamid. Pourkerman Majid. Jokar Rahman. Djamali Mortza. Marriner Nick. Andrieu-Ponel Valerie. Mousavi Harami Reza.2014. Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea. Journal of the Persian Gulf (Marine Science)/Vol. 5/No. 16/June 2014/22/27-48

Natesan Usha. Parthasarathy Anitha. Vishnunath R. Edwin Jeba Kumar Vincent G. Ferrer A .2015. Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques. Aquatic Procedia 4: 325 – 332

Pilkey O.H. Hume T. 2001. The shoreline erosion problem: lessons from the past.Water Atmos. 9 (2), 22e23.

Salghuna N.N.Aravind Bharathvaj S.2015. Shoreline Change Analysis For Northern Part Of The Coromandel Coast. Aquatic Procedia 4: 317 – 324

Vivek G. Goswami Santonu. Samal R.N. Choudhury S.B.2019. Monitoring of Chilika Lake mouth dynamics and quantifying rate of shoreline change using 30m multi-temporal Landsat data. Data in Brief 22: 595–600